





FONTE

DU PONT DE CUBZAC.



Imp. Lemercier, Benard et Cie

Pont de Cubzac.



DESSINS

ET DESCRIPTION

DES

PILIERS EN FONTE DE FER.

Emile Martin.

1841.

PARIS.

IMPRIMERIE DE SCHNEIDER ET LANGRAND,

RUE D'ERFURTH, N° 1.

1841

TITRES DES ARTICLES.

NOTES SUR L'ART DU FONDEUR.

Les dimensions extraordinaires du pont de Cubzac ont donné un grand retentissement à la construction de ce monument. Le terrain mobile des abords, un fond de rivière de 20 mètres de profondeur de vase, des courants rapides, causés par de fortes marées, les dangers d'un passage de 500 mètres violemment agité par les vents d'ouest, un système de suspension réduit aux seuls points d'appui des abords, telles sont les difficultés que M. de Vergès, ingénieur du pont de Cubzac, a eu à vaincre et qui justifient ce que le succès de cette construction a pu ajouter à la réputation de cet habile ingénieur.

Le nombre et la nature de ces difficultés rendent assez curieux les détails de ce travail, pour que j'aie pensé que la description et les dessins d'une de ses parties, la plus originale sans doute, *les piliers en fonte,* seraient accueillis avec intérêt par MM. les ingénieurs des travaux publics.

Le projet des piliers en fonte du pont de Cubzac était une innovation [1], d'un succès au moins douteux, pour les ingénieurs peu habitués aux idées de construction en fonte.

M. Martin (du Nord), alors ministre des travaux publics, m'autorisa, malgré la prohibition qui frappe les objets de fonderie anglaise, à faire fondre en Angleterre deux de ces piliers, pour donner preuve de la possibilité de leur exécution, et c'est sur cette garantie d'exécution possible que M. de Vergès se détermina à accepter mon projet.

La faveur éclairée de M. Martin (du Nord) a porté son fruit; les piliers du pont de Cubzac sont l'exemple d'un grand ouvrage en fonte moulée, dont MM. les ingénieurs peuvent faire d'utiles applications. C'est à la suite de ce travail que M. Barthe, ministre de la justice et des cultes, considérant largement la question de la construction des grands combles de la cathédrale de Chartres, voulut bien en confier l'exécution à M. Mignon et à moi, en nous donnant pour conditions de ne pas dépasser le devis, et d'avoir terminé dans l'année; conditions qui ont été fidèlement remplies.

Cette libéralité dans la manière d'envisager les travaux d'art est le seul moyen d'arriver à leur succès ; car sous l'influence du système d'adjudication, ces deux grandes constructions en fer n'eussent jamais pu être exécutées.

Je ne saurais terminer sur ce sujet sans rappeler tout l'appui que, dans cette circonstance, comme dans toutes celles où il s'est agi de choses d'utilité publique, j'ai si utilement reçu de M. le duc Decaze, dont la bienveillance sans bornes m'a soutenu pendant ce long temps d'épreuve qui, en France, s'écoule toujours entre le projet et sa mise en exécution, et je ne puis mieux lui exprimer ma reconnaissance, qu'en répétant ici que c'est à sa sollicitude et à sa ferme volonté que l'on doit le monument du pont de Cubzac, le plus gigantesque et le plus original, en son genre, qui soit dans le monde.

Le pont de Cubzac, tel que M. Deschamps, inspecteur général des ponts et chaussées, l'avait proposé, avec une travée mobile pour le passage des navires montant à Libourne, était devenu impossible par l'opposition qu'y apportait cette ville. Le conseil général de la Gironde en repoussait chaque année l'exécution. Le projet du pont de Cubzac était devenu le sujet d'une lutte entre Bordeaux et Libourne. M. le duc Decaze, alors président du conseil général de la Gironde, se fit le conciliateur entre les deux villes, en proposant et faisant accepter, par le conseil général, la construction du pont avec une hauteur suffisante pour le passage libre des navires. Le vote du conseil général détermina l'administration des ponts et chaussées à l'exécution, et M. le duc Decaze ne cessa de s'occuper de cette affaire que lorsque les Chambres eurent voté la subvention et assuré la réalisation de cet ouvrage.

Le projet que j'avais proposé à M. le duc Decaze, composé de deux grandes arches de 200 mètres et d'une autre de 100 mètres au milieu, c'est-à-dire sur le point où les bas-fonds

[1] La disposition des colonnes creuses, à jour, et de pièces de rapport est sans aucun exemple analogue en Angleterre.

donnent la passe la moins facile, était plus convenable au passage libre des navires, et le pont placé en aval du port de Cubzac, c'est-à-dire en un point où le terrain solide s'approche de la rive, eût évité les grandes levées de la rive droite, sur un terrain vaseux, dont les tassements prodigieux ont fait époque dans l'art des constructions.



Imp. Lemercier, Bénard et Cie

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PONT.

Avant d'entrer dans la description des piliers en fonte du pont de Cubzac, nous dirons quelques mots de l'ensemble de cet ouvrage.

Construit sur la Dordogne en amont du bourg de Cubzac, ce pont et les ouvrages qui en dépendent, se développent sur une longueur totale de 1,545 mètres.

La distance entre les axes des obélisques qui supportent les chaînes de retenue est de 545 mètres.

Cette longueur est divisée en cinq travées égales, de 109 mètres chacune; le tablier a 7 mètres 50 centimètres de largeur entre les garde-corps.

Au milieu de sa longueur il est élevé de 28 mètres au-dessus de l'étiage, et de 25 mètres 50 centimètres vers les culées.

Deux viaducs, élevés sur arcades en maçonnerie, viennent se raccorder d'un côté avec les culées du pont, de l'autre avec des levées en terre qui se terminent à la route royale de Paris à Bordeaux; les piliers qui supportent ces viaducs sont fondés sur un radier général en maçonnerie.

Les quatre piliers en rivière, les culées, ainsi que les quatre premiers piliers des viaducs, sont seuls établis sur pilotis.

Le tablier est suspendu à douze câbles en fil de fer; ces câbles sont maintenus par des haubans inclinés, qui se rattachent à une traille ou câble horizontal, et forment une suite de triangles, qui ont tous pour base cette traille, et dont les sommets sont situés près des points d'appui des câbles de suspension. Au moyen de ce système de haubans, M. de Vergès a pu maintenir, dans des limites assez étroites, le mouvement des rouleaux placés au sommet des piliers, et les empêcher de sortir du plan sur lequel ils se meuvent.

MOTIFS QUI ONT DÉTERMINÉ A CONSTRUIRE LES PILIERS EN FONTE.

La rivière de la Dordogne coule sur un terrain d'alluvion sans aucune consistance jusqu'à une grande profondeur. Des sondages, faits avec soin, dans le lit même de la rivière, avaient indiqué 20 à 25 mètres de hauteur de vase; l'établissement des fondations des piles dans un pareil terrain, et dans une rivière où la marée s'élève jusqu'à 6 mètres 50 centimètres, offrait les plus grandes difficultés.

En supposant des piliers en pierre, le poids total d'une pile eût été de 6,000,000 de kilogrammes au moins; avec des piliers en fonte, ne pesant que 200,000 kilogrammes, on pouvait réduire le poids de ces piles à 2,100,000 kilogrammes, et par suite le nombre des pieux des fondations. Au lieu de 480 pieux, nécessaires dans le cas de piliers en pierre, 159 pieux devenaient suffisants en employant la fonte. La base des maçonneries ayant une superficie moindre, les caissons rentraient dans des dimensions ordinaires; enfin les chances d'accidents devenant moindres, on pouvait, jusqu'à un certain point, prévoir l'époque de l'achèvement des travaux.

Convaincu de ces avantages, M. de Vergès accepta la proposition qui lui fut faite de construire des piliers en fonte, qui satisfaisaient non-seulement à la condition de poids, mais qui aussi présentaient un ensemble dont tous les éléments, solidement reliés entre eux, offraient une résistance certaine aux oscillations continuelles d'un tablier suspendu aux sommets de piliers d'une si grande hauteur pour une base aussi étroite.

DESCRIPTION DES PILIERS EN FONTE.

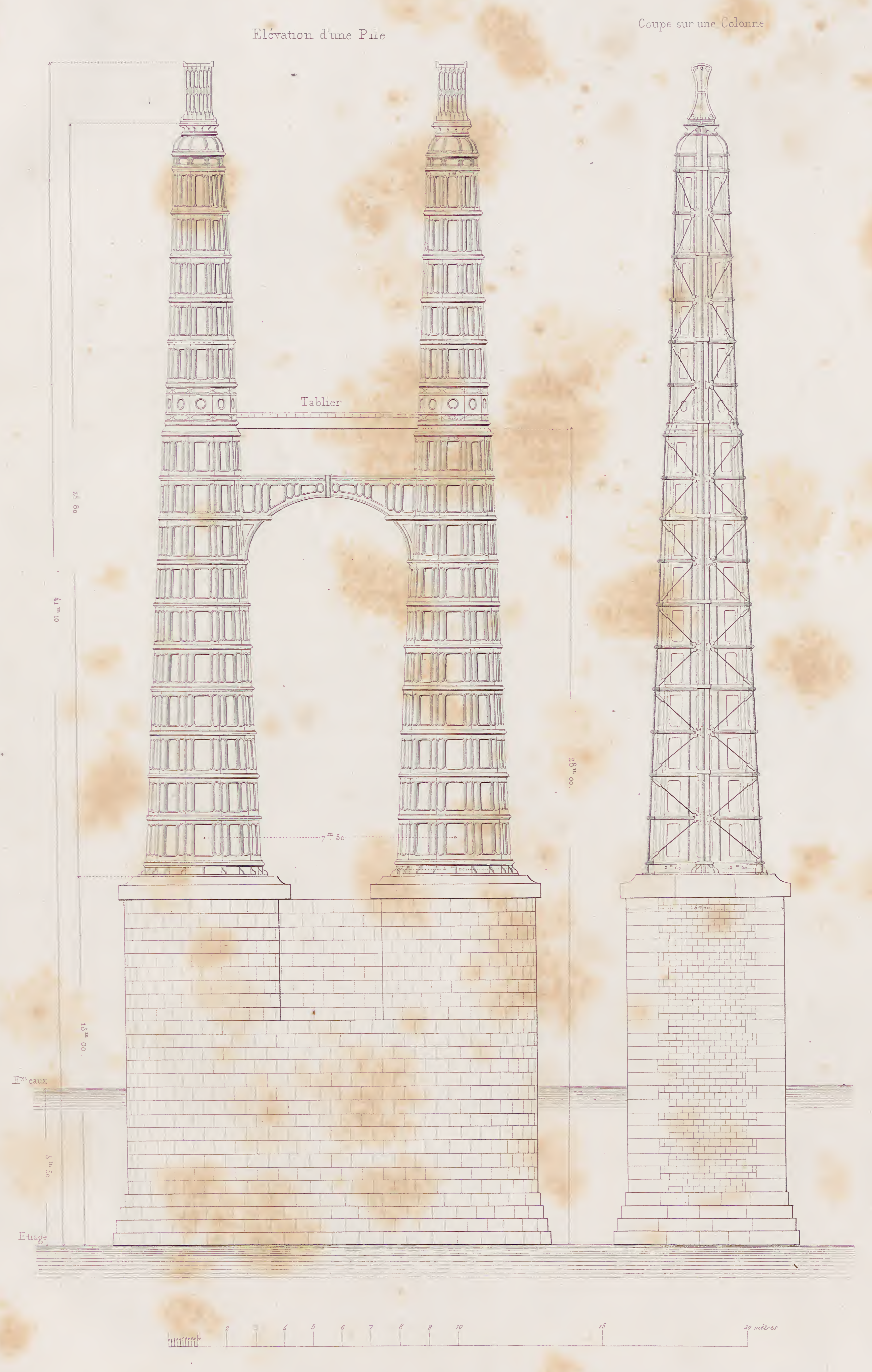
Chaque pile est formée d'une base en maçonnerie, supportant deux piliers en fonte, réunis par un double arceau à la hauteur du tablier; la base en maçonnerie a 4 mètres 90 centimètres de largeur, sa hauteur est de 13 mètres au-dessus de l'étiage; les piliers ont une hauteur totale de 28 mètres jusqu'au sommet du rouleau, portant les câbles de suspension.

Chaque pilier se compose de deux troncs de cônes superposés, réunis par un anneau de raccord à peu près au niveau du tablier.

Le tronc de cône inférieur est formé de dix assises ou tambours, et repose sur une base solidement fixée aux maçonneries. Le deuxième tronc de cône, qui a la même génératrice que le premier, est composé de sept assises, dont la première et la dernière diffèrent des autres par la forme et les dimensions. L'anneau de raccord est d'un seul morceau; le pilier se termine par une coupole supportant un plateau dressé, sur lequel repose le balancier où viennent s'appuyer les chaînes de suspension.

Au centre de chaque pilier s'élève un support qui se relie à l'enveloppe que nous venons de décrire par des entretoises en fonte et des croix de Saint-André en fer. Ce support, formé d'une base et de huit poteaux superposés, se termine par un chapeau dont les nervures correspondent à celles du plateau supérieur à la coupole. Des anneaux ou bagues, correspondant aux joints des poteaux, reçoivent l'assemblage des entretoises en fonte, et servent en même temps à consolider les diverses parties du support.

La planche 3 représente l'élévation générale d'une pile et la coupe sur un des piliers. On peut voir dans cette dernière figure la disposition du support intérieur et de ses étais en fer et en fonte.



Elévation d'une Pile
Coupe sur une Colonne
Tablier
7m 50
Hles eaux
Etiage
20 mètres
Imp. Lemercier Benard et Cie

RÉSISTANCE DES PILIERS.

Ces piliers ont à résister à deux efforts différents ; l'un agit verticalement et se compose, pour chaque travée :

1° d'un poids permanent de	225,000	kilogrammes.
2° de la charge d'épreuve	150,000	
Total . . .	375,000	kilogrammes,

dont la moitié, c'est-à-dire 187,500 kilogrammes, est la charge maxima, supportée par chacun des piliers, au moment de l'épreuve.

La plus petite section d'un pilier étant de 350,000 millimètres carrés, on voit que chaque millimètre ne porterait qu'un 1 2 kilogramme ; c'est-à-dire une charge beaucoup moindre que celle que l'on pourrait faire supporter à la fonte, si l'on considérait seulement sa résistance absolue. Mais cette condition est la moins importante de celles auxquelles il faut satisfaire ; il en est d'autres qui résultent de la nature du métal, des procédés de moulage, enfin du mode d'assemblage des pièces de fonte, qui exigent une certaine épaisseur dans les pièces, indépendamment de toute considération des efforts à supporter.

L'autre force, qui agit dans une direction horizontale et qui tend à renverser les piliers, résulte du frottement du rouleau recevant les câbles. Nous venons de voir que la charge totale, au moment de l'épreuve, est de 375,000 kilogrammes. Lorsque les balanciers se déplacent et roulent sur le plan qui les supporte, il y a, entre les deux surfaces en contact, un frottement qui peut être considéré comme une force tangente en ce point. Cet effort est, suivant Coulomb, $\frac{1}{150}$ de la charge, c'est-à-dire $\frac{375.000}{150}$ kilogrammes, = 24,000 kilogrammes ; chaque pilier résiste donc à un effort horizontal de 12,000 kilogrammes ; toutefois il n'est résulté de là aucun effet appréciable, soit dans l'aplomb des piliers, soit dans les assemblages des plaques entre elles, dont les joints en mastic se sont conservés sans offrir la moindre fissure. On a pu juger encore de la résistance des piliers à l'époque où l'on commença le montage des câbles : les points d'appui manquant pour lever la chaîne horizontale, on les prit sur les piliers eux-mêmes, qui eurent alors à supporter un effort tel, qu'ils furent soulevés de près de 1 centimètre sur leur base, parce qu'ils n'étaient point encore fixés à la maçonnerie qui les supporte ; néanmoins, aucune disjonction, dans les assemblages, ne se manifesta sous l'influence de cet effort.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IV.

DÉTAILS DE LA BASE, DES PLAQUES DE LA PREMIÈRE ASSISE, ET DE L'ANNEAU DE RACCORD.

La base qui reçoit la première assise des piliers, est formée de cinq segments reliés ensemble par des boulons.

La figure 1ère donne le plan ainsi que les élévations d'un de ces segments.

Figure 2, coupe de cette base ; I, G, feuillure qui reçoit la bride inférieure des plaques composant la première assise.

Chacune des assises des piliers est formée de six plaques évidées ; ces plaques sont terminées sur toutes leurs faces par des brides qui servent à les réunir entre elles et avec celles des assises inférieures et supérieures.

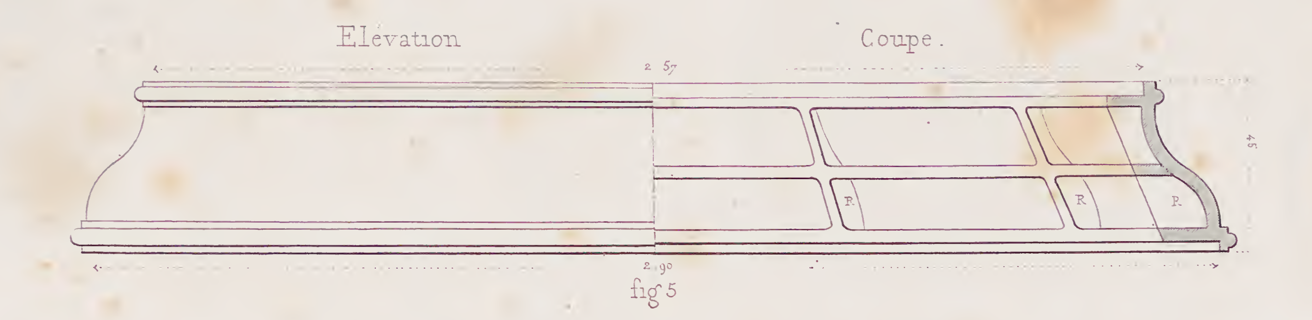
Figure 3, élévation et coupe d'une plaque.

Figure 4, section d'une plaque par un plan horizontal ; T, T, T, trous des boulons.

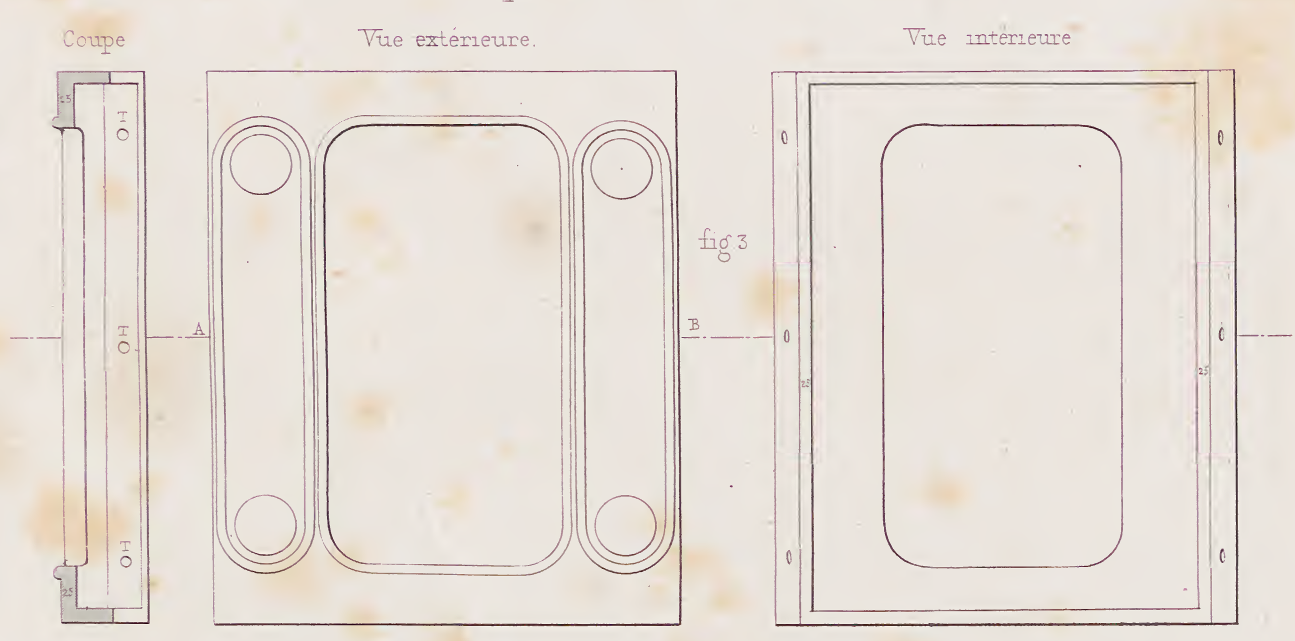
L'anneau de raccord, qui se trouve à la hauteur du tablier du pont, est coulé d'un seul morceau ; il a extérieurement la forme d'un talon renversé ; à l'intérieur, il est garni de brides d'assemblage et de renforts dirigés dans des plans verticaux passant par l'axe du pilier.

Figure 5, élévation et coupe de cet anneau ; R, R, renforts intérieurs.

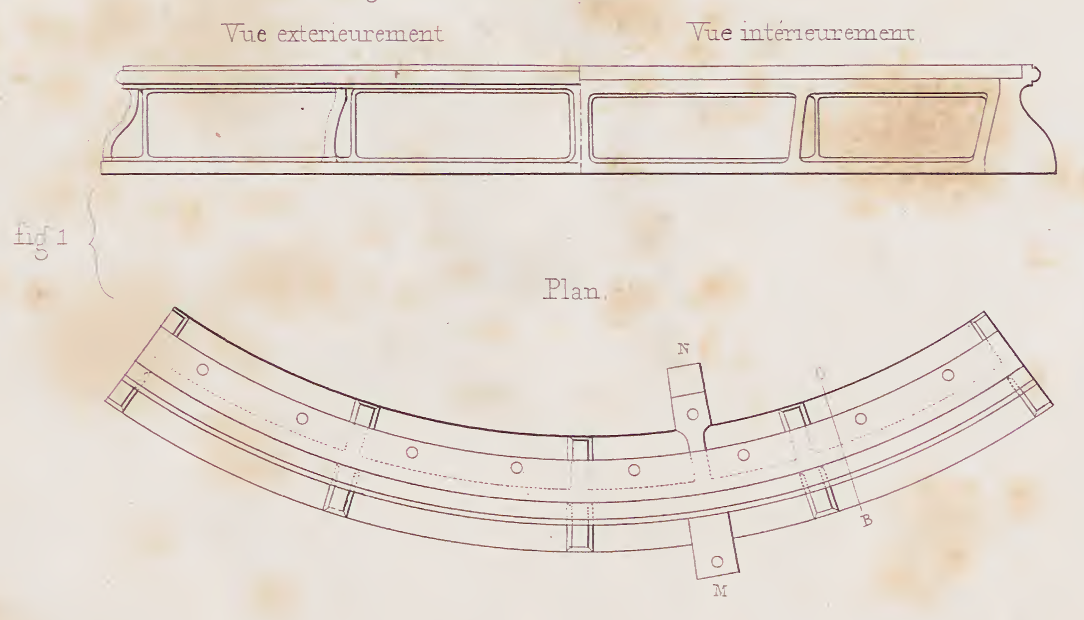
Anneau de raccord

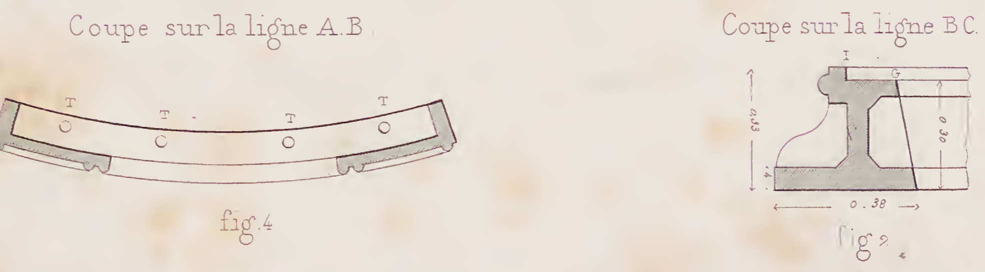


Plaque de la 1re assise des Colonnes



Segment de Base des Colonnes





0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 2 mètres

Imp. Lemercier Bénard et Cie

SUR LE RETRAIT, LA DILATATION, LES VIBRATIONS ET LES CHOCS.

La différence entre le moule et la pièce fondue est d'environ $\frac{1}{100}$ pour toutes les dimensions. Cette différence provient du retrait, qui varie assez sensiblement pour les diverses qualités de fonte.

La manière dont le mouleur serre le sable, l'ébranlement plus ou moins grand qu'il donne au modèle pour le détacher du moule, influent encore sur les dimensions de la pièce ; aussi, il a fallu, dans les piliers du pont de Cubzac, composés d'un grand nombre de pièces, se réserver les moyens de faire disparaître les différences de dimensions, qui ont été la conséquence des causes ci-dessus.

La dilatation étant estimée de $\frac{1}{1,000}$ de 0° à 100°, il semblait que les génératrices du cône, sous l'influence du soleil, s'allongeraient beaucoup plus que celles opposées, restées dans l'ombre ; le pilier était exposé à s'incliner du côté qui ne recevrait pas l'action solaire ; mais cet effet n'a pas été assez sensible pour être aperçu au moment des plus grandes chaleurs. Cela a tenu, sans doute, à ce que le métal étant très-conducteur, sa température s'égalise, et peut-être aussi aux joints qui sont un peu compressibles.

Les vibrations sont sans doute la plus nuisible de toutes les causes qui agissent sur les métaux ; les effets en ont été pour ainsi dire annulés par la grande division des assises qui composent les cônes, et surtout en reportant la charge sur le poteau intérieur, dont les vibrations ne peuvent se transmettre aux vingt-huit assises des cônes que d'une manière insensible.

Enfin, quant aux chocs qui peuvent atteindre les pièces des piliers, outre le peu de chances de tels accidents, ils devraient être très-violents pour briser une plaque, et la rupture d'une et même de plusieurs plaques serait sans aucune conséquence fâcheuse pour la solidité des piliers, et, au reste, cet accident pourrait être facilement réparé.

EXPLICATION DE LA PLANCHE V.

La planche 5 donne les détails de la coupole qui couronne les piliers, et ceux de la manière dont le poteau intérieur se rattache aux arêtes solides du cône.

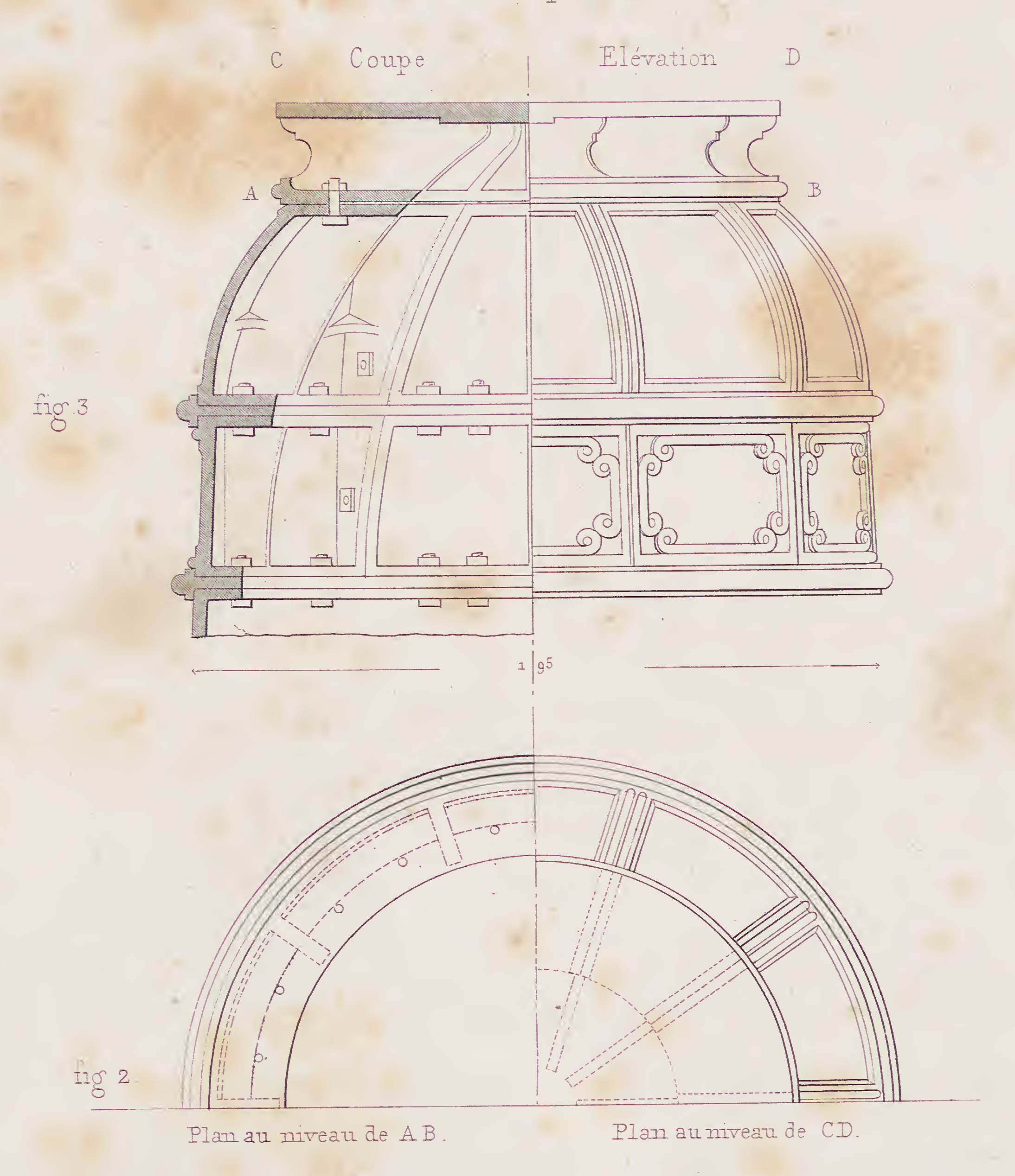
Figure 1, M est la section du poteau composé de deux pièces boulonnées ensemble dans la hauteur.

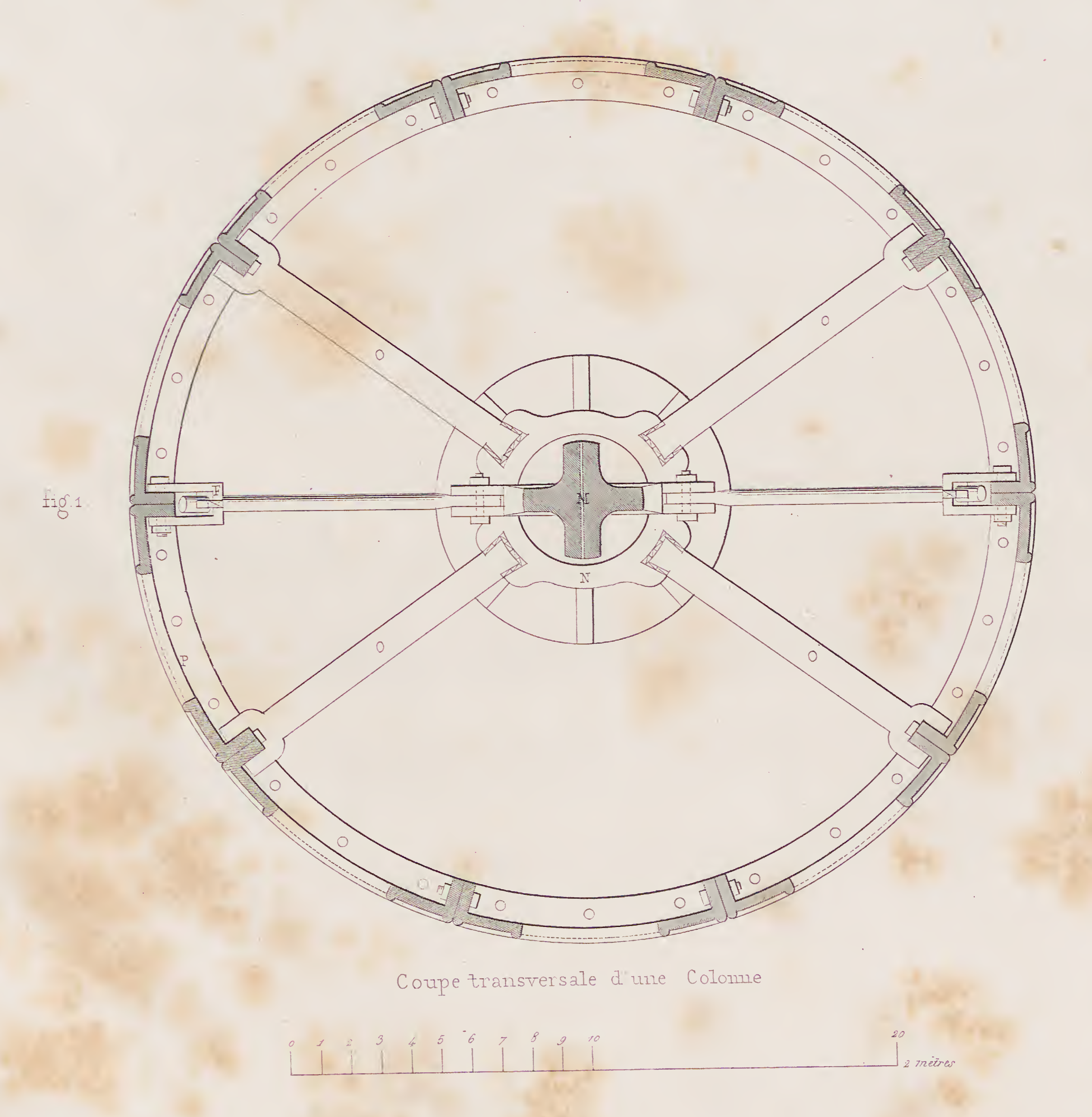
.... N est une bague qui est placée à la jonction de deux pièces du poteau, posées l'une sur l'autre, et qui sert à en réunir les extrémités. Quatre mortaises à queue d'hironde, ménagées autour de cette bague, reçoivent les entretoises O, O, O, qui vont s'attacher aux nervures intérieures, P, du cône. Un système de croix de Saint-André, en fer forgé, dont les barres sont tendues par les clefs F, assure la liaison du poteau intérieur à l'enveloppe conique des piliers.

Figure 2, plan de la coupole, avec ou sans le plateau qui la surmonte.

Figure 3, élévation et coupe de la coupole, de son plateau et de l'assise ornée, sur laquelle elle repose.

Détails de la Coupole des Colonnes





Coupe transversale d'une Colonne

Im. Lemercier Benard et Cie

MONTAGE ET POSE DES OUVRAGES EN FONTE.

Le montage et la pose des constructions en fonte exigent plusieurs conditions, sans lesquelles ce genre d'ouvrage serait excessivement onéreux ou peu solide.

1° Il ne faut en aucun cas admettre le moindre travail de dressage ou d'ajustage des pièces au burin, à la lime ou à la machine : la dureté de la matière, le prix des ouvriers habitués à ce genre de travail et les frais d'outils, sont des causes de dépenses inabordables dans les constructions, et qui ne conviennent qu'aux ouvrages de mécanique précieuse.

2° Le redressement, au marteau, des pièces gauchies à la fonte, ne doit pas être admis; ces gauchissements sont la preuve de l'emploi de mauvaise matière, et le redressement, au marteau, détruit la solidité de la pièce.

3° La précision de la pose doit être parfaite; rien ne doit être négligé; ici la masse et le poids des pièces ne peuvent contribuer à l'équilibre. Enfin, il faut éviter l'emploi des pièces de grand poids, ou difficiles d'exécution, qui augmentent la dépense sans ajouter à la solidité.

Ces principes ont présidé à la construction et à la pose des piliers de Cubzac. Le résultat a été une exécution précise et régulière, et une solidité basée sur la jonction la plus parfaite de toutes les pièces composant ces grands cônes.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VI.

Après avoir posé les pièces de la base, figure 1, sur le couronnement en pierre de la pile, les avoir placées sur des cales en bois, de manière que le cercle qu'elles composent ait son centre dans l'axe du cône et son plan supérieur parfaitement horizontal, leur ensemble a été fortement fixé à la maçonnerie, au moyen de boulons de 5 mètres de longueur, encastrés dans le massif de la pile.

Sur cette base ainsi dénivelée et couverte d'une lame de feutre, on a posé la première assise de plaques, figure 2. Les dix plaques, ainsi placées et formant un premier tronc de cône, ont été boulonnées à la base et ensemble, et parfaitement réglées par rapport à l'axe, au moyen du compas. Puis on a couronné cette assise par un anneau, M, embrassant les dix morceaux de cette assise, à la manière d'un cercle de tonneau.

Cet anneau a été mis parfaitement de niveau au moyen de cales en bois, posées sur l'assise; lorsqu'il a en outre été bien centré, on a couvert de feutre son plan supérieur, et on a procédé à la pose de l'assise suivante, laquelle, après avoir été réglée, a été boulonnée à la première assise. On a successivement suivi le même mode pour toutes les assises du cône. On observera, qu'afin d'éviter les difficultés de la correspondance des trous, on n'avait fait venir à la fonte que ceux d'une seule bride, dans chaque assemblage; ceux de l'autre bride ont été percés sur place, après le règlement des pièces.

La grue volante, indiquée figure 3, pouvant être facilement montée à mesure de l'élévation de la construction, a servi à la pose des pièces des deux cônes, qui étaient montés simultanément, pour éviter tout embarras d'échafaudage.

Cette grue, mobile, légère et peu coûteuse, a été d'un très-grand secours; pouvant, à cause de sa légèreté, être manœuvrée, démontée, remontée aisément par le petit nombre d'hommes choisis qui faisaient le montage des piliers, quoique certaines pièces, comme celles de l'anneau de raccord et les balanciers, excèdent 2,500 kilogrammes en poids.

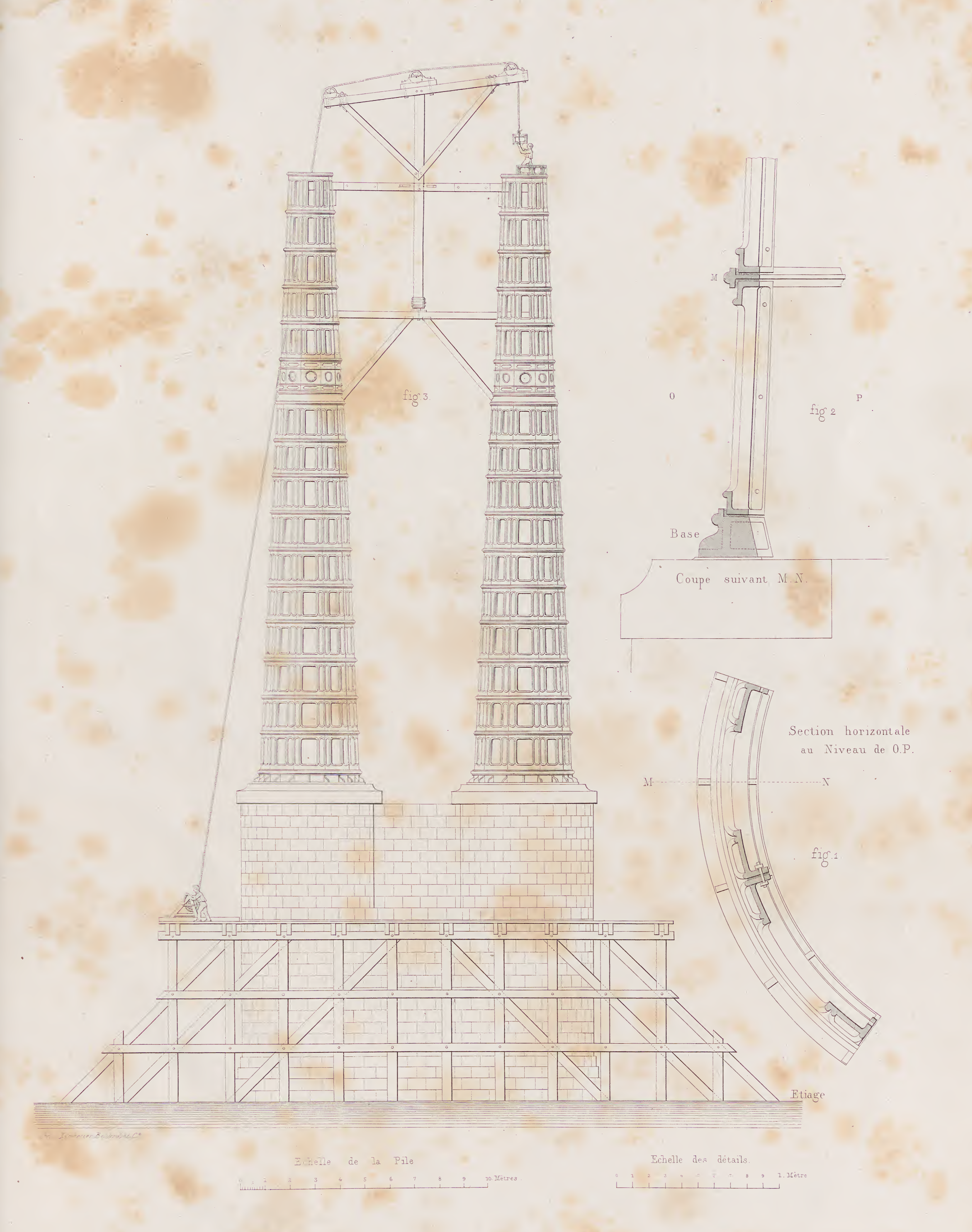
A la suite des monteurs venaient les calfateurs, faisant les joints des pièces posées sur cales; ces joints étaient remplis avec du mastic de fonte, battu au marteau. Les joints verticaux étaient aussi remplis de mastic de fonte; ce mastic augmentant de volume par l'oxydation, on relâchait les boulons, pour ne les resserrer qu'à la fin de la pose.

Les cônes étant montés comme on vient de l'indiquer, on a procédé avant de poser les coupoles, au montage des piliers intérieurs, qu'on a également établis sur cales et joints au mastic.

Les bagues ont été serrées contre les poteaux, avec des coins de fer et les vides garnis de mastic; seulement les calages des entretoises horizontales à queue ont été faits en bois. Ces cales en chêne sec, serrées par de petits coins en fer, sont plus élastiques que les joints au mastic de fer et sont très-durables.

Le poteau intérieur ainsi monté, on a posé la coupole et enfin le chapeau destiné à porter la charge du pont. Ce chapeau pouvant être soutenu à volonté par le cône ou par le poteau ou par les deux à la fois, on a d'abord fortement calé entre le chapeau et le poteau, afin de lui faire porter la plus grande partie de la charge. Ce même chapeau n'étant soutenu par le cône qu'au moyen de cales en bois, c'est dans cette position que les épreuves ont été subies; ce n'est qu'ensuite qu'on a fait le joint en fonte du chapeau sur la coupole; et ainsi le poids, les chocs et les vibrations, auxquels le chapeau est soumis sous la charge du pont, ont été répartis à la fois et aussi également que possible, sur le poteau intérieur et sur le cône.

Montage et Assemblage des Piliers en Fonte.



Echelle de la Pile

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mètres

Echelle des détails.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 Mètre

NOTES SUR L'ART DU FONDEUR.

Le choix du métal, les procédés de fusion, la confection des modèles, les considérations de plus grande résistance des pièces, due à leurs formes, à la nature du métal, la simplicité des pièces au moulage, qui influe si puissamment sur le prix, etc., sont des données indispensables à l'étude des projets de constructions en fonte de fer.

Les pièces du pont de Cubzac ont été fondues de deuxième fusion ; le mélange se composait de 3/4 de fonte grise douce de première qualité, et de 1/4 de bonne fonte refondue ; le métal obtenu par ce mélange était gris, fin, serré, homogène, présentant des arrachements à la cassure, d'un retrait fort régulier et ne se voilant pas au refroidissement.

SUR LA DEUXIÈME FUSION.

Quelques personnes, étrangères aux connaissances pratiques de l'art du fondeur, se sont élevées contre l'emploi de la deuxième fusion, pensant que les pièces de première fusion, d'un prix bien moindre, étaient d'un aussi bon usage ; je vais entrer dans quelques détails à ce sujet.

La fonte de fer est un métal de qualités très-variées ; entre la fonte blanche et la fonte noire, qui sont les deux termes extrêmes, il existe une foule de degrés intermédiaires qui font varier la *résistance absolue* et la *force d'élasticité,* pour une même nature de métal, c'est-à-dire composé avec les mêmes minerais. Si l'on considère, en outre, les variations bien plus importantes provenant du choix et de la nature des minerais, on admettra aisément que l'énorme différence de résistance, du simple au double, peut exister entre deux pièces de fonte de qualités différentes.

La fonte blanche, par sa dureté, résiste fortement à la pression ; mais elle est fragile, d'un retrait considérable et inégal, elle se tourmente et se voile au refroidissement.

La fonte noire est poreuse, molle, inégale dans sa texture, par suite d'une liquation qui sépare du métal les molécules du charbon en excès.

La fonte de première fusion est celle qui sort du haut fourneau ; cette fonte est encore chargée d'un excès de silice, et, blanche, noire, ou a un des grains quelconques intermédiaires, suivant la marche du fourneau ; marche qui varie constamment sous l'influence de la température de l'appareil, de la qualité du charbon, des castines, des minerais, du soin des ouvriers, de la régularité de la machine soufflante, de l'état hygrométrique de l'atmosphère, etc., etc., d'une coulée à l'autre, et dans le cours même de quelques heures, le grain et la qualité varient.

Tous les objets qui n'exigent pas un métal homogène, une résistance donnée, un retrait régulier, etc., peuvent sans inconvénient se faire en première fusion ; de ce nombre sont les tuyaux, les fontes communes de bâtiments, et surtout celles d'ornement ; car certaines fontes de première fusion prennent l'empreinte et se moulent avec autant de finesse et de perfection que les fontes de deuxième fusion.

La fonte de deuxième fusion est un alliage régulier de fontes de première fusion ou brutes, dont l'espèce est choisie suivant la qualité que l'on veut donner à la pièce à exécuter.

L'alliage, ou le mélange des qualités de fontes brutes, propre à faire un canon, diffère de celui à employer pour un rouleau de laminoir, de celui destiné à couler un cylindre à vapeur, une pièce de mécanique ordinaire, etc., etc.

Dans tous les usages où la résistance uniforme, conséquence de l'homogénéité de la matière, est une condition nécessaire, l'emploi *de la deuxième fusion* est indispensable ; c'est seulement avec la deuxième fusion qu'on aura un métal régulier, de qualité et de grain, d'un retrait uniforme, qui permette de calculer les dimensions des modèles avec précision, et évite de jeter dans les dépenses et difficultés du travail au burin [1].

On emploie en général, à la première fusion, les fontes qui se fabriquent à bon marché, et sont, par leur liquidité, propres au moulage, mais ne conviendraient pas à d'autres usages ; les minerais riches et sulfureux, ceux qui contiennent du phosphore, sont dans ce cas.

Les qualités de fontes brutes, propres au moulage dans le commerce, peuvent être classées comme il suit :

La fonte brute pour moulage de lest vaut environ	13 fr. les 100 kil.
Celle *dito* pour tuyaux *en première fusion* [2]. . .	16
Celle *dito* pour les objets de mécanique *en deuxième fusion* [3] vaut de.	18 à 22
La marine achète les fontes pour canons.	24

L'économie que présente la première fusion sur la deuxième a sa cause principale dans la différence de qualité et de valeur de la matière employée. Cette économie, appliquée aux constructions importantes, serait fausse, et pourrait avoir des conséquences qui ne sont pas acceptables dans de bons travaux.

Les constructions en fonte, en Angleterre, sont toutes de deuxième fusion, sans aucune exception, et le pont d'Austerlitz, par ses réparations continuelles, est un fâcheux exemple de l'emploi de la première fusion.

Sur le choix des fontes des mélanges.

J'ajouterai un mot sur le mélange des fontes brutes pour obtenir les fontes de deuxième fusion, propres à l'emploi auquel elles sont destinées.

Si les pièces doivent résister à la pression, le métal truité est le plus convenable, et les premières qualités de fonte ne sont pas nécessaires ; ainsi les bases de fondations, les colonnes, etc., doivent se faire avec le deuxième choix.

Les pièces qui ont à résister à des pressions transversales, à des charges animées de force vive, comme les poutres, les arceaux de voûtes ou de combles, etc., exigent les premiers choix, et le grain uniformément *gris clair, fin et serré.*

Ces principes, bien reconnus par les fondeurs de pièces de mécanique, n'étaient pas encore, il y a peu de temps, admis dans les fonderies de canons de la marine, et cependant on doit convenir que ces fonderies, où les mélanges sont constamment étudiés et suivis d'épreuves enregistrées

[1] Dans aucune des constructions en fonte que j'ai exécutées, je n'ai eu à redresser les pièces au burin ; et la dépense considérable d'ajustage, à la lime et au burin, des pièces de première fusion, avec lesquelles on a construit le clocher de la cathédrale de Rouen, est un exemple de l'emploi onéreux de cette espèce de fonte.

[2] Les fourneaux qui fabriquent ces fontes sont situés principalement en Champagne, en Normandie, en Bretagne, dans les Landes et les Ardennes.

[3] Les fontes douces et résistantes, pour la deuxième fusion, se tirent de la Franche-Comté et du Nivernais. Le Périgord fournit les meilleures fontes à canons. Paris et tout le nord de la France s'approvisionnent principalement avec des fontes anglaises, de Galles et d'Écosse. Les fontes belges, qui depuis plusieurs années sont employées par les fondeurs de Paris, sont de qualité inférieure comme résistance et élasticité ; mais elles ont peu de retrait ; leur grain, très-carburé, permet aux petits fondeurs de porter dans leurs mélanges une plus grande proportion de vieilles fontes de Champagne ou de Normandie, qu'ils achètent de 10 à 12 fr. les 100 kil., à Paris.

avec le plus grand soin, sont les meilleures écoles expérimentales du fondeur ; mais depuis quelques années les fondeurs de la marine se sont rapprochés de l'opinion commune, et ont substitué la fonte à grain fin, truité gris, à la fonte à grain truité blanc [1].

Quoi qu'il en soit de cette opinion, qui se réduit à savoir s'il faut fabriquer les canons avec des fontes ayant la plus grande résistance absolue, ou avec celles dont la qualité et le grain donnent la plus grande force d'élasticité, il est certain que pour les pièces de fonte soumises à des efforts qui exigent d'elles une certaine élasticité, le choix *des fontes gris clair est indispensable.*

Les fondeurs de canons, comme ceux de mécanique, ont reconnu que les alliages de plusieurs espèces de fonte avaient plus de résistance que chacune des espèces en particulier ; et surtout qu'un mélange de fonte neuve avec 1/5 ou 1/4 de bonne fonte refondue donnait un métal plus résistant que celui de fontes neuves sans additions de vieilles fontes. M. Calla, avec le soin qu'il porte dans toutes ses recherches expérimentales, a récemment constaté ce fait à l'occasion de la fabrication des voussoirs du pont de Corbeil.

Les fonderies de la marine n'admettent que 1/5e en poids de masselottes, ou vieilles fontes, dans les mélanges.

Sur l'élasticité de la fonte et sa contexture.

La qualité d'élasticité de la fonte est si peu apparente, qu'il semblerait qu'on n'a pas à en tenir compte dans les constructions. Voici quelques faits qui donneront une idée plus précise à ce sujet :

Une plaque de côté d'un fourneau à réverbère de 1 mètre 50 centimètres sur 2 mètres, ayant 25 millimètres d'épaisseur, avait pris une courbure de 6 à 7 centimètres sous l'effort de la maçonnerie du four, dilatée à chaque fusion ; j'eus d'abord la crainte que cette plaque, venant à se briser brusquement, ne blessât l'ouvrier qui conduisait le fourneau ; mais soit négligence, soit oubli, elle resta en place, et ce ne fut que douze ans plus tard que, le four étant démoli, la plaque fut ôtée : *elle redevint sensiblement plane.*

Dans les colonnes de Cubzac, les oscillations très-sensibles n'ont jamais altéré aucun joint ; la courbure s'est donc également répartie sur toutes les pièces de fonte.

Un barreau de fonte de 1 mètre de longueur, 35 millimètres de largeur et 35 millimètres d'épaisseur, posé sur deux points d'appui, distants de 96 centimètres, et chargé en son milieu d'un poids de 500 kilogrammes, prend une flèche d'environ 1 centimètre ; cette charge supprimée, il revient sensiblement à sa forme primitive.

Lorsque j'ai fondu les voussoirs du pont du Carrousel, M. le chef d'escadron Thierry [2], chargé par M. le maréchal Soult de suivre les essais d'affûts en fer et de fabrication de canons qu'il nous avait confiés, voulut expérimenter la force d'élasticité des voussoirs ; il plaça un voussoir de 4 mètres 50 centimètres de longueur, du pont du Carrousel, sur deux solives à 3 mètres de distance, et, dans cette position, il fit charger ce voussoir d'un poids de 20,000 kilogrammes, après quoi il fit tomber sur cette charge un mouton de 700 kilogrammes, d'une hauteur de 7 mètres, à plusieurs reprises.

La flèche, de près de 1 centimètre sous la charge de 20,000 kilogrammes, allait à 3 centimètres sous le choc du mouton, et se relevait après le coup d'environ 1 centimètre

La charge enlevée, le voussoir reprit sa forme et n'eut plus qu'une courbure à peine appréciable. (*Notice sur le nouveau système des ponts en fonte,* par M. Polonceau.)

Un anneau en fonte de 10 centimètres de diamètre, par exemple, étant alésé avec soin au diamètre juste d'un mandrin tourné, si on applique une frette en fer, à chaud, sur cet anneau, il diminuera de diamètre, et le mandrin qui entrait librement ne pourra plus être introduit.

On a remarqué que des roues de voitures de chemin de fer, de 1 mètre de diamètre, composées d'un anneau en fonte et de bras droit en fer forgé plat, diminuaient quelquefois si sensiblement de diamètre sous la pression, au refroidissement du bandage en fer forgé, posé à chaud, que les bras en fer prenaient une courbure assez marquée pour qu'il fallût rebuter ces roues. Pour que ces anneaux en fonte diminuent de diamètre, il faut que le métal se refoule sur lui-même, que les molécules qui le composent glissent et se rapprochent les unes des autres.

Le glissement des molécules de métal est une conséquence forcée des expériences rapportées ci-dessus, et peut être appuyé de l'opinion de M. Savart, qui a porté des vues si élevées sur les propriétés physiques des corps ; cette opinion consiste à supposer que, lors du refroidissement d'un métal en fusion, la cristallisation ne place pas les molécules dans un état d'équilibre parfait, et qu'ainsi ces molécules tendent à se déplacer constamment, de telle sorte que, sous l'influence de causes qui, en apparence, sont peu importantes, la constitution intérieure des corps métalliques varie et change de nature ; c'est ainsi qu'un barreau de fer nerveux, soumis à une température peu élevée, devient à grains, et que, dans certaines circonstances, ce grain se change en facettes de dimensions extraordinaires ; c'est d'après ce principe que, dans les constructions en métal, il faut éviter de soumettre les pièces à des vibrations continues, et que les ponts suspendus en Angleterre ont leurs chaînes massives tendues et prenant le moins de mouvement possible sous les vibrations du plancher.

Conclusion.

Mais sans pousser plus loin ces considérations sur le métal et ses mélanges, concluons que, quoique l'expérience des ouvriers fondeurs sur les meilleurs mélanges, sur le degré de température auquel il faut fondre, sur le choix du grain de la fonte, soit peu éclairée et encore renfermée dans des faits de simple observation de leur part, il n'en est pas moins certain que cette expérience est la seule base solide sur laquelle les constructeurs en fonte puissent s'appuyer [1], et cette expérience a établi d'une manière incontestable que les mélanges, dans certaines proportions, donnaient constamment des produits d'une régularité suffisante pour assurer la durée et la solidité des constructions ; tandis que l'emploi des qualités communes et sans choix laissait des chances d'accidents qu'aucune économie ne pourrait compenser.

SUR LE FONDAGE ET LE MOULAGE.

Après le choix de la qualité des fontes et la détermination des mélanges, vient le procédé de fondage et de moulage.

Les pièces des colonnes du pont de Cubzac, exécutées tant en Angleterre qu'en France, ont été fondues au fourneau à la Wilkinson et moulées en sable vert.

[1] Dans la note que j'ai publié il y a dix ans, à l'occasion d'un essai de fonte de canon, que m'avait ordonné M. le maréchal Soult, j'ai avancé l'opinion que le mélange gris clair était, pour la fabrication des canons, préférable au mélange à grain truité.

Par là j'ai voulu dire qu'il était préférable, dans l'usage, d'employer les fontes qui ont la plus grande élasticité, plutôt que celles qui ont la plus grande résistance absolue. Cette opinion, que l'expérience a admise dans toutes les constructions mécaniques, paraîtra, je pense, assez rationnelle, pour être adoptée par MM. les ingénieurs auxquels je la soumets.

[2] M. le chef d'escadron d'artillerie Thierry, officier d'ordonnance du roi, a publié ces essais dans un ouvrage dont le succès à l'étranger a été remarquable, et qui a été la cause de l'organisation de batteries construites sur ce mode.

[1] Pour s'être écarté de cette expérience et avoir voulu substituer un mélange arbitraire en fonte noire aux mélanges usités, l'artillerie de la marine perdit, il y a quelques années, cent cinquante pièces de canon qui ne purent supporter les épreuves, et un essai de deux canons en fonte grise de première fusion, dans un fourneau du Berri, n'eut pas un résultat plus heureux, ces canons ayant éclaté sous les premières charges d'épreuve.

Pour des pièces de mince épaisseur et de poids n'excédant pas 3 à 400 kilogrammes, surtout s'il y a un grand nombre de pièces à exécuter rapidement, ce mode est celui qu'il faut préférer ; il s'applique merveilleusement à un travail uniforme et continu.

S'il s'agissait de grandes et lourdes pièces, le coulage au four à réverbère et le moulage en sable étuvé et en terre seraient le plus sûr, quoique les Anglais et quelques fonderies, par une vue d'économie et de rapidité d'exécution, aient regardé comme un perfectionnement de mouler en sable vert les pièces des plus grandes dimensions.

Sans doute, il y a quelque chose de remarquable et une économie de temps et d'espace, à mouler en une journée et à couler immédiatement une pièce de 10 à 15 mètres de longueur, par exemple, et du poids de 5 à 6000 kilogrammes, qui, étuvée, eût employé vingt-quatre heures de plus à sécher, et occasionné une dépense de combustible assez considérable ; mais si on considère l'importance en général pour les grandes pièces d'être exemptes de toute soufflure et d'une précision toujours désirable dans les formes et les dimensions, on trouvera que souvent cette économie est mal entendue.

Lorsque nous avons fondu les quinze tambours ou tronçons unis qui forment le fût de la colonne de Juillet et les grandes pièces planes qui composent son piédestal, nous avons sans doute fait ce qui jusqu'alors ne s'était jamais vu : des pièces de bronze de dimensions énormes et de la plus mince épaisseur [1], dont les surfaces, découvertes au tour, n'ont présenté ni bouillons ni soufflures ; ce succès, sur lequel nous avions peu compté, a été dû à ce que nos moules, étuvés au degré de cuisson de la brique, étaient complétement exempts d'humidité.

Après quelques essais, et quoique pressé par la nécessité d'exécuter en trois mois les fontes du pont du Carrousel, ce qui forçait à couler régulièrement chaque jour quatre voussoirs du poids de 1500 kilogrammes chacun, je n'ai pas hésité à mouler en sable d'étuve, ce qui m'a donné des pièces parfaitement saines, de retrait très-uniforme, etc. Il y a donc lieu à recommander toujours ce procédé de moulage pour les pièces de grand poids et de grandes dimensions.

A cette occasion, je signalerai comme un moyen dont j'ai eu beaucoup à me louer, d'avoir coulé mes quatre voussoirs au même four à réverbère, en faisant deux fusions successives ; le fondage a été plus économique et meilleur qu'au four à la Wilkinson.

On sait que les fondeurs admettent en principe que le fondage au four à réverbère donne des fontes plus résistantes que si elles eussent été fondues au four à la Wilkinson. Si ce fait, que je crois vrai, sans l'avoir jamais constaté, est bien positif, on pourrait l'expliquer en supposant que le courant de fonte liquide, dans le four à la Wilkinson, passant successivement devant la tuyère, s'altère sous l'influence du jet de vent, altération qui n'a pas lieu dans le four à réverbère.

Quoi qu'il en soit de cette opinion, on ne déciderait pas les fondeurs de canons, en Angleterre comme en France, à fondre leurs pièces au four à la Wilkinson, quoique Mandslay, à Londres, et d'autres fonderies fondent souvent leurs grosses pièces de machines dans d'énormes fourneaux de cette espèce.

SUR LES MODÈLES.

La variété des modèles, encore plus que la difficulté de leur exécution, est un motif de si grande augmentation de dépenses, qu'il est de principe indispensable, dans les constructions en fonte, de multiplier autant que possible, le nombre des pièces à exécuter sur le même modèle.

Les difficultés du moulage, la distribution du métal dans les diverses parties de la pièce, la proportion convenable des dimensions et des formes qui lui assurent la résistance uniforme de toutes ses parties, l'égalité du retrait qui évite le gauchissement, etc., sont des détails d'expérience entièrement de la compétence de l'ouvrier fondeur, qui doit naturellement être consulté par l'architecte ou l'ingénieur.

[1] Elles n'ont que 15 millimètres d'épaisseur, et présentent une superficie extérieure de plus de 12 mètres carrés.

Les modèles du pont de Cubzac, exécutés en fonte, tracés sur épure et ajustés avec le plus grand soin, servaient en général au moulage de quatre-vingts pièces. On comprend que pour une fabrication active, il faut avoir un assez grand nombre de modèles de chaque espèce.

Au pont du Carrousel, le même modèle de voussoir, répété trois cents fois, a rendu cette fabrication rapide, économique et surtout très-précise, à cause de l'expérience qu'acquièrent bientôt les ouvriers en répétant la même pièce. Si cette condition est avantageuse au fabricant, en rendant la fabrication régulière, la main-d'œuvre économique, en supprimant les pertes de mal-façons et pièces manquées, elle n'est pas moins avantageuse à la construction, par la perfection et l'extrême précision à laquelle les ouvriers parviennent, en répétant un grand nombre de fois le même ouvrage.

Les fermes de la cathédrale de Chartres ont été composées avec trois modèles seulement, dont un seul se répète huit fois par ferme, et ainsi pour les soixante-quatre fermes cinq cent douze fois.

Pour mouler ces cinq cent douze pièces, on avait deux modèles en fonte parfaitement égaux et précis, qui, par suite, ont donné des pièces tellement régulières, que tout ce grand comble a pu être monté sans qu'aucune pièce ait eu besoin d'être touchée par le burin.

L'exécution des modèles est variable avec les procédés de moulage, l'intelligence du fondeur ; elle rentre donc entièrement dans son art ; aussi, après avoir réglé, d'accord avec le fondeur, les proportions et dispositions de détail des pièces, l'architecte ne doit pas se charger de faire exécuter les modèles, mais les laisser entièrement à la charge du fondeur. C'est à la fois le moyen le plus économique et le plus certain d'arriver à de bons résultats.

Dans les travaux importants, il ne faut rien économiser pour la confection des modèles ; l'économie, sur cet article, ne doit consister que dans leur nombre et la simplicité de leurs formes.

La confection des modèles ne peut être confiée aux menuisiers ordinaires. L'ouvrier modeleur doit connaître l'art du mouleur, savoir calculer le retrait et la dépouille, pouvoir comprendre les procédés particuliers que le mouleur emploiera pour l'exécution de la pièce, afin de disposer le modèle en conséquence.

Les bons ouvriers modeleurs savent dessiner avec la plus grande précision et n'ont besoin que de croquis cotés avec soin et intelligence.

Les études pratiques sur la mécanique et le travail des métaux devenues nécessaires à la science de l'ingénieur.

Les ingénieurs anglais ont multiplié les applications de la fonte de fer dans leurs constructions ; ils ont par là ouvert une voie nouvelle à la science de l'ingénieur. Aussi les métaux et la puissance mécanique ont pris place parmi les moyens de construire, et de nouvelles études, une nouvelle expérience sont ajoutées à l'art des constructions [1].

[1] Ce serait une erreur de croire que la différence de prix des métaux en France et en Angleterre est un obstacle qui nous ôte la possibilité de suivre les Anglais dans la marche progressive de leurs machines et de leurs constructions ; ce serait poser en principe notre infériorité à tout jamais. La France est plus riche que l'Angleterre en minerai de fer ; notre infériorité n'est causée que par le défaut de moyens de transport et l'exiguïté de nos débouchés comparés aux immenses débouchés des Anglais. Ces causes sont de celles qui ne peuvent durer toujours et qui peuvent d'ailleurs être surmontées par les progrès mêmes ordinaires de la fabrication des métaux.

Nous sommes riches en minerai de fer et pauvres, dit-on, en charbon : les Anglais sont riches en charbon et pauvres en minerai.

Qu'il nous soit permis d'espérer qu'un jour, peut-être peu éloigné, verra notre inégalité s'effacer, et le fer de France arriver sur les marchés de la Méditerranée, qui sont l'avenir de notre puissance manufacturière.

Nos ingénieurs ne peuvent rester en arrière, et cependant l'indifférence de l'école des ponts et chaussées, sur cette partie de la science de l'ingénieur, devenue si importante, est certainement, depuis quelques années, parmi les causes qui peuvent faire un grand tort aux élèves sortis de cette école.

Il y a quinze ans un jeune homme sorti de l'école était estimé propre à tout; il était accueilli et recherché dans tous les arts, dans toutes les professions. Aujourd'hui les élèves de l'école sont, parmi les jeunes gens, les plus difficiles à placer dans les grands travaux industriels. C'est que le programme des études de l'école des ponts et chaussées n'est plus à la hauteur des choses d'aujourd'hui; c'est que le point de départ de la science de l'ingénieur est, dès à présent, l'étude complète de la mécanique pratique à laquelle se rattache tout le travail des métaux, et que l'art de bâtir n'est plus qu'un des chapitres de cette science devenue si grande depuis vingt-cinq ans.

En Angleterre, un homme qui ne saurait que bâtir ne serait pas un ingénieur, et M. Telford, qui a doté ce pays de si beaux travaux, à une époque loin encore des progrès d'aujourd'hui, disait qu'un ingénieur ne pourrait rien faire, s'il n'avait l'expérience d'un mécanicien, d'un fondeur, d'un forgeron, jointe à celle d'un maçon et d'un charpentier.

La science de bâtir exige de l'ingénieur la connaissance des grands principes de cet art et celle des magnifiques travaux, qui, en France, sont si multipliés; mais l'expérience de ses détails n'a pas un champ très-étendu. Il n'en est pas de même de l'art qui emploie les moyens mécaniques et met les métaux à l'œuvre. Les principes généraux, les formules et les tables de l'école, tels que les présente le livre de M. Navier, par exemple, sont de si petite utilité, que l'usage en serait puéril et compromettrait le caractère de l'ingénieur qui présenterait aux ouvriers un projet fondé sur ces bases vagues et peu certaines. L'emploi des métaux exige, avant tout, les connaissances de détail; dans chaque application, il faut avoir présent à l'esprit, les applications comparables qui déterminent par expérience, pour le cas où on se trouve, la forme, les dimensions et les autres conditions avec certitude.

C'est ce sentiment d'expérience, devenu une sorte d'instinct chez l'ouvrier, qui lui fait apprécier avec une singulière exactitude les véritables proportions des pièces entre elles, leur bon ou mauvais emploi suivant la nature du métal, etc., et jusqu'aux formes convenables et par suite gracieuses de chaque objet.

Que l'on juge alors de la position d'un jeune ingénieur, n'ayant à sa disposition que des données générales et indéterminées, plus propres à l'égarer qu'à l'éclairer, devant ces ouvriers dont l'intelligence a été exercée par l'expérience mécanique, et qui, à défaut d'une vaine science, ont, chacun pour la partie d'art à laquelle il est appliqué, cette habitude des proportions et de la nature des choses, acquise par la comparaison continuelle des objets qu'il ouvre chaque jour [1].

Ainsi l'art des détails est bien plus important et plus étendu dans les ouvrages construits avec les métaux, que dans ceux où s'emploient les matériaux plus simples. Les différences ou les erreurs dans les moindres parties peuvent avoir les plus grandes conséquences; le projet le mieux étudié en masse peut être impossible par suite d'une difficulté de détail.

La connaissance et l'étude des détails dans les formes, et l'ajustement des parties, sont donc indispensables à l'ingénieur, et il doit avoir présente à l'esprit cette épigraphe de l'aide-mémoire de Gassendi :

> D'un rien de plus, d'un rien de moins
> Dépend souvent le succès de nos soins.

Concluons que la nature des métaux, l'art de les ouvrer, sont des connaissances premières indispensables à l'ingénieur, aujourd'hui que ces matières sont venues prendre place parmi les matériaux de construction, et que le seul moyen de compléter l'instruction de nos jeunes ingénieurs est d'ajouter à leurs études théoriques la connaissance la plus complète et les moindres détails de tous les exemples d'emploi des métaux, depuis les constructions colossales jusqu'aux machines les plus délicates et les plus compliquées. Ils retrouveront dans l'étude du pont de Southwark, ou du bouclier du tunnel, les principes qui ont déterminé les formes et les proportions de la base du poids de 25 tonneaux, qui porte une machine de navigation de 450 chevaux, et l'étude d'une mull-jenny, comme celle d'une locomotive, leur donnera la mesure des ressources infinies que présente l'emploi des métaux dans les arts.

L'étude de l'œuvre des métaux entraîne celle non moins importante des outils qui y sont employés, et le programme de l'étude mécanique des ingénieurs devient fort étendu; mais, quel qu'il soit, il est devenu indispensable à nos écoles, qui, faute de ces connaissances, resteraient en arrière de la marche de l'art.

On dira peut-être que ces idées sont mesquines et exclusives; l'art qui a donné à Riquet la puissance de joindre les deux mers, qui a illustré Vauban et Perronnet, n'a rien perdu de sa grandeur, et c'est le ravaler que de lui imposer la science d'un banc à broches ou d'une voiture à vapeur, et de vouloir faire de nos ingénieurs des serruriers ou des fondeurs.

Loin de là, l'art de l'ingénieur qui, dans tous les temps, a marqué le progrès de la civilisation, est plus haut que jamais, et les services qu'il va rendre dans l'avenir l'emporteront certainement sur ceux qu'il a déjà rendus dans le passé. C'est à ces matériaux de nouvel emploi que nous devons les bateaux à vapeur et les chemins de fer, ces deux énormes faits de notre époque, qui vont changer les habitudes du monde et imprimer à la civilisation une marche tellement nouvelle, que les voies en sont connues seulement de la sagesse providentielle.

Ces considérations, qui sont au-dessus de ce qu'il est permis à un ouvrier spécial, n'ont d'autre but que le désir extrême de voir nos jeunes ingénieurs, poussés dans la carrière, s'élever à la hauteur de nos voisins, et ne pas permettre que les travaux de la nouvelle science appellent sur notre sol les ingénieurs d'outre-mer, et nous fassent ainsi subir une invasion de nouveau genre, amicale, et pour nous profitable, il est vrai, mais qui ajouterait encore au sentiment pénible d'une infériorité qui ne nous paraîtra que trop certaine, si nous comparons nos travaux à ceux des Anglais, des Américains et même de la Belgique.

[1] On peut ajouter que l'éducation de l'ouvrier, fondée sur le raisonnement appliqué continuellement à des faits, ne pouvant laisser place à un résultat faux ou vague, assure à sa raison une justesse d'application, spéciale il est vrai, mais qui doit être appréciée par ceux qui n'étudient et ne raisonnent que sur des idées.



